

⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 37 11 470 A1**

⑤① Int. Cl. 4:  
**B23K 26/00**  
B 23 Q 35/40

②① Aktenzeichen: P 37 11 470.0  
②② Anmeldetag: 4. 4. 87  
④③ Offenlegungstag: 27. 10. 88

*Behördeneigentum*

DE 37 11 470 A1

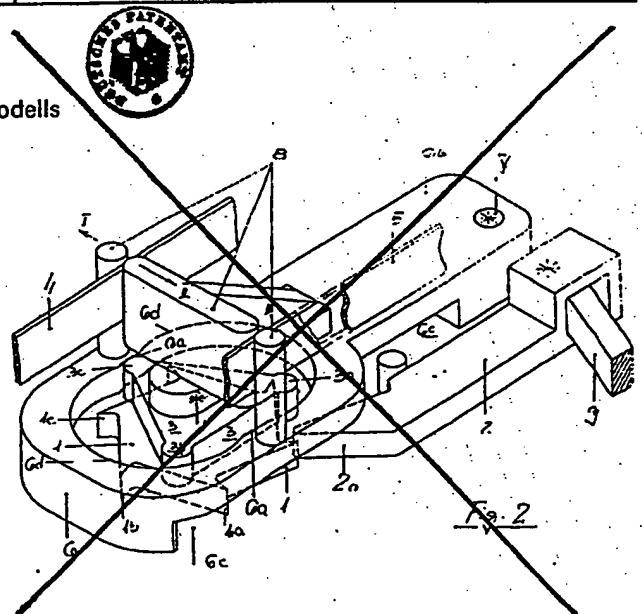
⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

⑦② Erfinder:  
Beyer, Eckhard, Dr.Dipl.-Ing.; Klein, Rolf, Dipl.-Ing.,  
5100 Aachen, DE; Herziger, Gerd, Prof. Dr.-Ing., 5106  
Roetgen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Modells

Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Modells, insbesondere eines Fahrzeugmodells, das aus einer Vielzahl von Scheiben zusammengesetzt ist, die Modellkonturen aufweisen und aus Plattenwerkstoff durch materialabtragende Bearbeitung hergestellt werden. Um insbesondere Fahrzeugmodelle schnell und kostengünstig herstellen zu können, erfolgt das Herstellen der Modellkonturen durch Bearbeitung des Plattenwerkstoffs mit Laserstrahl.



DE 37 11 470 A1

1. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Modells, insbesondere eines Fahrzeugmodells, das aus einer Vielzahl von Scheiben zusammengesetzt ist, die Modellkonturen aufweisen und aus Plattenwerkstoff durch materialabtragende Bearbeitung hergestellt werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Herstellen der Modellkonturen durch Bearbeitung des Plattenwerkstoffs (12) mit Laserstrahlung erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Plattenwerkstoff (12) Scheibenrohlinge (13) mittels Laserstrahls (14) herausgeschnitten werden, wobei der Laserstrahl (14) senkrecht zum Plattenwerkstoff (12) und/oder mit einer der Modellform (18) angepaßten Neigung zum Plattenwerkstoff (12) geführt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheibenrohlinge (13) zu einem Grobkonturmodell zusammengefügt werden, das danach erforderlichenfalls von Hand und/oder mit Laserstrahlung geglättet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die festgelegte Modellform (18) von einem Rechner (16) in Scheiben (11) eingeteilt wird, und daß der Rechner (16) die Konturwerte der Modellform (18) für die jeweiligen Scheibenstärken (17) berechnet und dementsprechend den Laserstrahl (14) beim Schneiden der Scheibenrohlinge (13) und/oder beim Glätten des Grobkonturmodells (15) beaufschlagt.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß nach jedem Anfügen eines Scheibenrohlings (13) eine Erfassung der tatsächlichen Konturwerte erfolgt und die Beaufschlagung des Laserstrahls (14) erforderlichenfalls entsprechend korrigiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Konturwerte der Modellform (18) die von den Scheibenseiten (19) und/oder Kanten (20) gebildeten Konturlinien (21) verwendet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß beim Glätten des Grobkonturmodells (15) ein Abstandsmeßsystem zur Steuerung einer den Laserstrahl (14) auf das Grobkonturmodell (15) fokussierenden Optik (22) und/oder ein Laserleistungsmeßsystem zur Steuerung von Betriebsgrößen des Lasers (23) verwendet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Betriebsgrößen des Lasers (23) dessen Leistung  $P$  und/oder dessen Einschaltdauer  $t_z$  verwendet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Zusammenfügen der Scheibenrohlinge (13) auf einander parallelen Fixierstäben (24) einer mit einer Abstreifeinrichtung (25) versehenen Montagebühne (26) erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Modellform (18) in Teilbereiche (27) aufgeteilt wird, in denen die Einteilung der Scheiben (11) in zueinander unterschiedlichen Scheibenebenen erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Plattenwerkstoff (12) Kunststoff und/oder Metall verwendet wird.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Modells, insbesondere eines Fahrzeugmodells, das aus einer Vielzahl von Scheiben zusammengesetzt ist, die Modellkonturen aufweisen und aus Plattenwerkstoff durch materialabtragende Bearbeitung hergestellt werden.

Bei der Herstellung von Kraftfahrzeugmodellen für Windkanalversuche und Styling-Studien wird ein aufwendiges Fräsverfahren angewendet, um Modelle im Maßstab 1:1 aus Polystyrolblöcken herauszuarbeiten, die anschließend per Hand glattgeschliffen werden. Das Fräsverfahren ist nicht nur aufwendig, sondern die Herstellung eines Modells dauert auch vergleichsweise lange.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Modells zu schaffen, das eine schnelle und kostengünstige Herstellung erlaubt.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß bei einem Verfahren mit den eingangs genannten Merkmalen das Herstellen der Modellkonturen durch Bearbeitung des Plattenwerkstoffs mit Laserstrahlung erfolgt.

Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß das dreidimensionale Modell nicht mehr aus einem Stück hergestellt wird, sondern daß eine Zusammensetzung einer Vielzahl von Scheiben erfolgt, welche die Modellkonturen aufweisen. Derartige Scheiben können vorteilhafterweise mit Laserstrahlung hergestellt werden, also durch materialabtragende Bearbeitung, bei der der Werkstoff durch die Energie eines Laserstrahls verdampft wird.

Zweckmäßigerweise werden aus dem Plattenwerkstoff Scheibenrohlinge mittels Laserstrahls herausgeschnitten, wobei der Laserstrahl senkrecht zum Plattenwerkstoff und/oder mit einer der Modellform angepaßten Neigung zum Plattenwerkstoff geführt ist. Das Herstellen von Scheibenrohlingen ermöglicht eine schnelle erste Annäherung an diejenigen Scheiben, welche die endgültigen Modellkonturen aufweisen sollen. Dabei genügt die zum Plattenwerkstoff senkrechte Führung des Laserstrahls, wenn der Scheibenrohling nur in geringem Maße genau sein soll oder die Modellkontur durch die senkrechte Strahlführung genügend genau angenähert wird. Durch eine der Modellform angepaßte Neigung des Laserstrahls zum Plattenwerkstoff lassen sich die Scheibenrohlinge noch genauer herstellen, insbesondere wenn die Scheibenkanten geneigt sind oder der Plattenwerkstoff verhältnismäßig dick ist.

Die Scheibenrohlinge werden zu einem Grobkonturmodell zusammengefügt, das danach erforderlichenfalls von Hand und/oder mit Laserstrahlung geglättet wird. Eine Glättung von Hand kann ausreichen, wenn das Grobkonturmodell dem gewünschten endgültigen Modell möglichst genau angenähert werden konnte. Eine Glättung mit Laserstrahlung erfolgt insbesondere, um verhältnismäßig grobe Konturen schnell zu verfeinern und ist für den Einsatz in automatischen bzw. gesteuerten Verfahren besonders geeignet.

Um die Vorteile elektronisch- bzw. rechnergestützter Fertigung nutzen zu können, wird die festgelegte Modellform von einem Rechner in Scheiben eingeteilt und der Rechner berechnet die Konturwerte der Modellform für die jeweiligen Scheibenstärken und beaufschlagt dementsprechend den Laserstrahl beim Schneiden der Scheibenrohlinge und/oder beim Glätten des Grobkonturmodells. Das Herstellungsverfahren des

Modells beginnt also damit, daß die Modellform in einem Rechner gespeichert wird. Es erfolgt dann eine Einteilung in Scheiben mit Hilfe eines Programms, mit dem beispielsweise die Konturgenauigkeit berücksichtigt wird. Dann werden mit diesem Programm auch die Konturwerte des Modells für die jeweiligen Scheibenstärken berechnet, um dementsprechend den Laserstrahl steuern zu können.

Nach jedem Anfügen eines Scheibenrohlings erfolgt eine Erfassung der tatsächlichen Konturwerte und die Beaufschlagung des Laserstrahls wird erforderlichenfalls entsprechend korrigiert. Infolgedessen können Toleranzen des Plattenwerkstoffs bzw. durch den Zusammenbau der Scheibenrohlinge bedingte Toleranzen berücksichtigt werden, um das Grobkonturmodell der gewünschten Modellform möglichst anzunähern.

Als Konturwerte der Modellform werden die von den Scheibenseiten und -kanten gebildeten Konturlinien verwendet, wenn diese Konturlinien die Konturwerte der Scheibenkante genügend genau wiedergeben.

Beim Glätten des Grobkonturmodells werden ein Abstandsmeßsystem zur Steuerung einer den Laserstrahl auf das Grobkonturmodell fokussierenden Optik und/oder ein Laserleistungsmeßsystem zur Steuerung von Betriebsgrößen des Lasers verwendet. Auf diese Weise kann das Glätten automatisiert werden, weil die gewünschte Modellform im Rechner gespeichert ist und infolgedessen zur Sollwertbildung herangezogen werden kann. Als Betriebsgrößen des Lasers werden dessen Leistung und/oder dessen Einschaltdauer verwendet, so daß also die Intensität des Laserstrahls und/oder dessen Impulsparameter beeinflußt werden können.

Das Zusammenfügen der Scheibenrohlinge erfolgt auf einander parallelen Fixierstäben einer mit einer Abstreifeinrichtung versehenen Montagebühne. Mit Hilfe dieser Montagebühne wird nicht nur das maßgerechte Zusammenfügen der Scheibenrohlinge erleichtert, sondern auch die Erfassung der tatsächlichen Konturwerte ausgehend von dieser Montagebühne.

Die Modellform wird vom Rechner in Teilbereiche aufgeteilt, in denen die Einteilung in Scheiben in zueinander unterschiedlichen Scheibenebenen erfolgt. Einzelne Bereiche eines Modells können infolgedessen mit geringerem Aufwand an Materialabtragung hergestellt werden.

Als Plattenwerkstoff wird Kunststoff und/oder Metall verwendet. Der Kunststoff kann durch die Energie des Laserstrahls vergleichsweise leicht verdampft werden. Mit Metall können insbesondere scharfe Konturen maßgenau hergestellt werden. Es versteht sich jedoch, daß auch andere Werkstoffe verwendet werden können, wie Keramiken oder Gläser, um konturgetreue Modelle oder Teile davon herzustellen.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten Modellen, Anordnungen und Verfahrensabläufen erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Schema eines Verfahrensablaufs zum Herstellen eines Modells,

Fig. 2 einen Ausschnitt des Verfahrensablaufs der Fig. 1 unter Heranziehung von Modelldarstellungen,

Fig. 3 eine Darstellung zur Führung eines Laserstrahls,

Fig. 4 eine Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zur Modellglättung und

Fig. 5 ein Kraftfahrzeugmodell mit mehreren unterschiedlich geschichteten Teilbereichen.

Gemäß dem in Fig. 1 dargestellten Fertigungsablauf ist ein Rechner 16 vorhanden, der Bestandteil eines so-

genannten CAD-Systems ist. Mit Hilfe dieses Systems bzw. eines Rechnerprogramms kann eine Modellformerstellung 30 erfolgen und die Modellform 18 kann gespeichert werden, vgl. Fig. 2. Mit Hilfe des Rechners 16 wird eine Fixpunkterfassung 31 durchgeführt, von der aus die Modellform 18 in Scheiben 11 eingeteilt wird, wobei das Scheibeneinteilen 32 die Gestaltungen der Modellform 18 berücksichtigt und der Rechner 16 gegebenenfalls lediglich Teilbereiche 27 berücksichtigt, vgl. Fig. 5.

Nach dem Scheibeneinteilen 32 erfolgt das Ausschneiden 33 von Scheibenrohlingen 13 und danach ein Zusammenfügen von Scheibenrohlingen 13 zu einem Grobkonturmodell 15. Nach dem Zusammenfügen 34 der Scheibenrohlinge 13 erfolgt eine Meßwertaufnahme 35 am Grobkonturmodell 15. Die erfaßten Konturwerte werden dem Rechner 16 eingegeben, der das Ausschneiden 33 eines weiteren Scheibenrohlings 13 entsprechend steuert.

Nach dem Fertigstellen des Grobkonturmodells 15 erfolgt eine Feinkonturherstellung 36 entweder durch ein Glätten 37 durch Abtragen mit dem Laserstrahl, oder eine Nachbearbeitung 38 von Hand, mit Spachteln und Schleifen.

Fig. 2 veranschaulicht die Verfahrensschritte 32 bis 35 unter Teildarstellung der dabei erforderlichen Gegenstände. Zum Scheibeneinteilen wird auf einem Bildschirm 39 des Rechners 16 die Modellform 18 dargestellt. Der den Frontbereich bildende Teilbereich 27 der Modellform 18 wird vom Scheibeneinteilen ausgeschlossen. Das Scheibeneinteilen erfolgt ausgehend von dem Fixpunkt 31. Anschließend an die Scheibeneinteilung 32 werden die Konturwerte der Modellform 18 für die gewählte Stärke 17 der Scheibe 11 berechnet, wobei hier als Konturwerte die Konturlinien 21 dienen, welche gemäß Fig. 3 von den Scheibenseiten 19 und den Scheibenkanten 20 gebildet werden. Dabei ist der Einfachheit der Darstellung halber in Fig. 2 angenommen, daß die beiden Konturlinien 21 deckungsgleich sind.

Das Ausschneiden 33 eines Scheibenrohlings 13 erfolgt gemäß Fig. 2 mit einem Laser 23, dessen Strahl 14 mit einer Bearbeitungsoptik 22 auf den Plattenwerkstoff 12 fokussiert wird. Zum Ausschneiden des Scheibenrohlings 13 wird ein rechnergesteuertes Mehrachs-Strahlführungssystem verwendet, welches den Laserstrahl 14 so führt, daß er stets die Verbindungslinie zwischen zwei Konturlinien 21 bildet.

Fig. 3 zeigt eine zum Plattenwerkstoff 12 senkrechte Strahlführung, so daß sich eine zur Seitenfläche 19 senkrechte Schnittfuge mit entsprechend senkrechter Schnittkante 20 ergibt. Bei der des weiteren der Fig. 3 entnehmbaren Strahlführung mit Neigung zum Plattenwerkstoff 12 ergibt sich eine entsprechend geneigte Scheibenkante 20.

Die ausgeschnittenen Scheibenrohlinge 13 werden zu einem Grobkonturmodell 15 zusammengesetzt, wozu eine Montagebühne 26 dient. Die Montagebühne hat einen Boden 40, eine Rückwand 41 und eine Abstreifeinrichtung 25. Es sind einander parallele Fixierstäbe 24 vorhanden, die parallel zum Boden 40 angeordnet sind und infolgedessen ein nacheinander erfolgendes Aufstecken der Scheibenrohlinge 13 gestatten. Dabei erfolgt ein Zusammenfügen dieser Rohlinge 13 beispielsweise durch leichten Klemmsitz auf den Fixierstäben 24 oder durch Verkleben miteinander. Durch Scheibentoleranzen und/oder Klebmittelauftrag ergibt sich in Richtung der Fixierstäbe 24 ein etwas größeres, als das berechnete Maß, so daß die infolgedessen vorhandene

Ungenauigkeit durch die Erfassung 35 der tatsächlichen Konturlinien 21 vor dem Scheibeneinteilen 32 für einen weiteren Scheibenrohling 13 berücksichtigt werden muß. Nach der Fertigstellung des Grobkonturmodells 15 wird es mit der Abstreifeinrichtung 25 von den Fixierstäben 24 heruntergeschoben, falls sich nicht eine Feinkonturherstellung anschließt.

Eine Feinkonturherstellung wird mit Fig. 4 erläutert. Dort ist die Außen- bzw. Grobkontur eines Teils 15' des Grobkonturmodells 15 als Ist-Kontur bezeichnet, die es mit dem Laserstrahl 14 abzarbeiten gilt, um die Soll-Kontur zu erreichen, also die Modellkontur einer Modellform 18. Hierzu wird die Energie des Lasers 23 mit einer Bearbeitungsoptik 22 auf das Teil 15' bzw. das abzutragende Material fokussiert. Der Laserstrahl 14 hat dort die gewünschte Energiedichte, um das abzutragende Material zu verdampfen.

Der Laser 23 erzeugt einen gepulsten Laserstrahl 14, der mit einem Impuls oder einer bestimmten Anzahl von Impulsen eine Materialabtragung bis auf den Wert  $z_{\text{MESS}}$  bewirkt hat. Dieser Wert bzw. der Abstand zwischen der Soll- und der Ist-Kontur wird mit einem Abstandsmeßsystem ermittelt und gemäß Fig. 4 in die Prozeßdatenverarbeitung 42 gegeben. Außerdem wirkt die Bearbeitungsoptik 22 mit einem Laserleistungsmeßsystem zur Ermittlung derjenigen Laserleistung  $P_L$  zusammen, mit der der Wert  $z_{\text{MESS}}$  erreicht wurde. Auch der gemessene Laserleistungswert wird in die Prozeßdatenverarbeitung 42 eingegeben. Außerdem wird die Prozeßdatenverarbeitung 42 mit den jeweiligen Werten  $z_{\text{SOLL}}$  versorgt, welche in Fig. 4 nur beispielsweise zur Steuerung der Bearbeitungsoptik 22 in nur eine Richtung  $z$  dienen, tatsächlich aber sämtliche Werte betreffen, mit denen die Modellform 18 charakterisiert wird. Die in Fig. 4 dargestellte Vorgabe erfolgt mit dem Rechner 16, welcher der Prozeßdatenverarbeitung 42 alle zur Bearbeitung des Grobkonturmodells 15 erforderlichen Daten übermittelt, gegebenenfalls alle erforderlichen Daten zur Bearbeitung des Plattenwerkstoffs 12 schlechthin. Beispielsweise ist es nicht erforderlich, daß Scheibenrohlinge 13 zu einem Grobkonturmodell 15 zusammengefügt werden, sondern es ist auch möglich, daß ungeschnittener Plattenwerkstoff auf die Fixierstäbe 24 gegen das zuvor bereits erstellte Grobkonturmodellteil gesteckt wird und dann das Herausschneiden eines Scheibenrohlings 13 mittels Laserstrahls 14 erfolgt.

Der Rechner 16 gibt dem Laser 23 die Laserleistung  $P_L$  vor, wie auch als weitere Betriebsgröße desse Einschaltdauer, bei einem gepulsten Laser 23 also Impuls- 50 lange und Impulsfrequenz. Die Prozeßdatenverarbeitung 42 ergänzt die Steuerung des Lasers 23 durch  $\pm \Delta P$  und  $P_L \text{ AN/AUS}$ . Diese Größen variieren die Laserleistung  $P_L$  und die Einschaltdauer  $t_L$  derart, daß mit dem nächstfolgenden Laserimpuls bzw. der nächst- 55 folgenden Impulskette der in Fig. 4 schraffiert dargestellte Materialbereich abgetragen wird. Zuvor hat die Prozeßdatenverarbeitung 42 einen Wert für einen Verstellweg  $\pm \Delta z$  bestimmt und einem Stellmotor 43 zugeleitet, der die Bearbeitungsoptik 22 in Richtung auf die Soll-Kontur verschoben hat.

Bei Erreichen des vorgegebenen Soll-Konturwertes wird die Bearbeitung gestoppt und die Bearbeitungsoptik um ein dem Durchmesser des Laserstrahls 14 entsprechendes Wegstück  $\Delta x$  in Vorschubrichtung ver- 65 schoben. Danach wird die Bearbeitung fortgesetzt, bis das gesamte Grobkonturmodell 15 geglättet bzw. die Modellform 18 erreicht ist. Daran kann sich eine Nach-

bearbeitung von Hand sowie eine Lackierung des Modells anschließen.

Fig. 5 zeigt ein Modell 10, dessen Modellform 18 aus drei Teilbereichen 27 besteht. Es handelt sich um ein Personenkraftfahrzeugmodell, dessen mittlerer Teilbereich 27 eine Schichtung aus vertikal nebeneinander geordneten Scheiben 11 aufweist, dessen frontaler und heckseitiger Teilbereich 27 hingegen jeweils horizontal geschichtete Scheiben 11 aufweisen. Das hat den Vorteil, daß weit vorspringende Bereiche, beispielsweise die Stoßstangenbereiche, durch eine entsprechend gewählte Stärke des Plattenwerkstoffs 12 feiner geschichtet modelliert werden können, ohne daß dabei erhebliche Materialabtragung beim Glätten erforderlich ist.

Fig. 5 läßt auch deutlich erkennen, daß sich die Stärke des Plattenwerkstoffs 12 bzw. der Scheiben 11 nach den am Modell vorkommenden Krümmungen richtet. Die in Fig. 5 dargestellten Plattenstärken sind lediglich schematisch. Um die Scheibenrohlinge 13 weitgehend bearbeitungsfrei herzustellen, können die Scheiben sehr dünn gewählt werden, z. B. 1 bis 2 mm.

- Leerseit -

3711470

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 11 470  
B 23 K 26/00  
4. April 1987  
27. Okt b r 1988

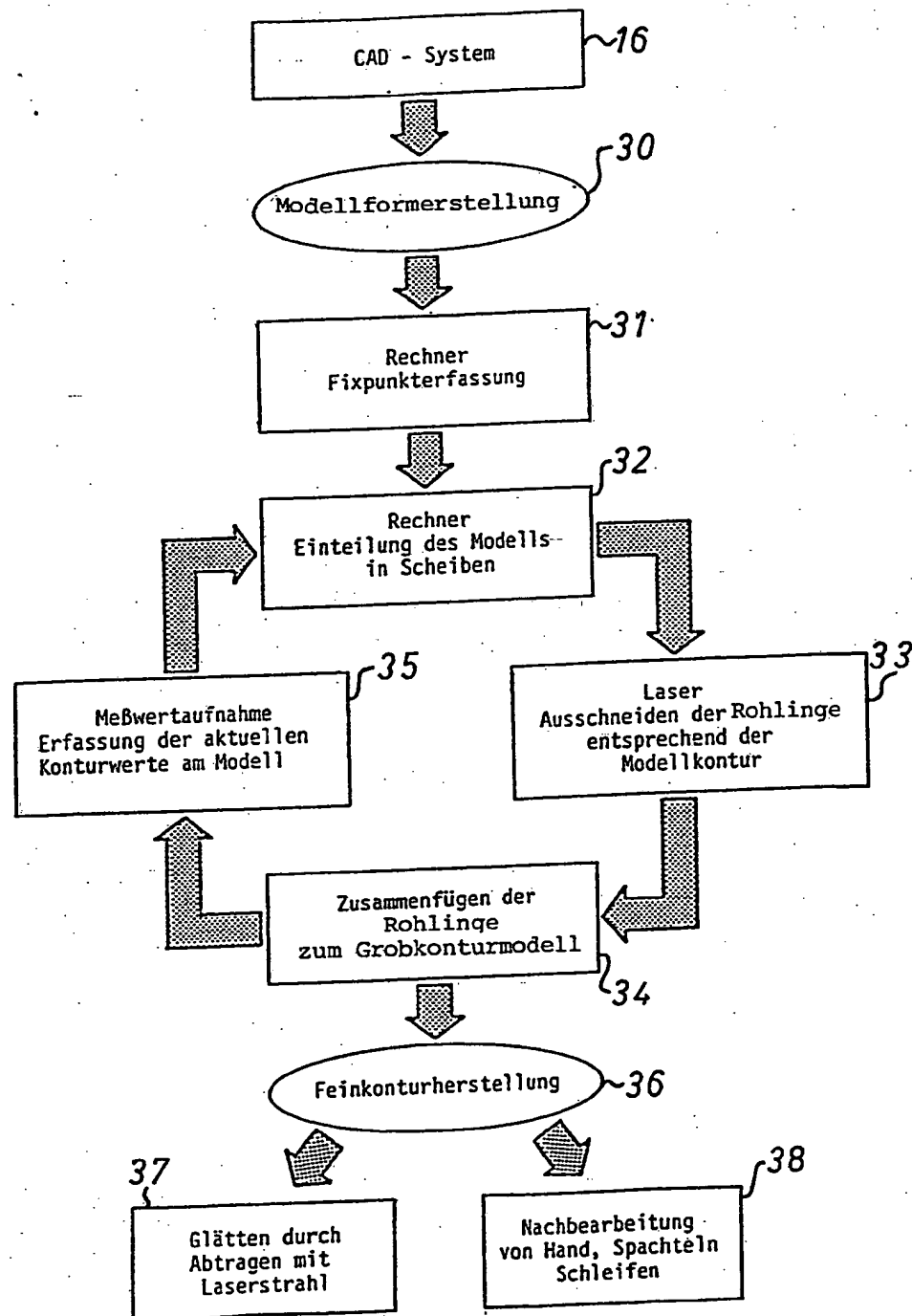


FIG. 1

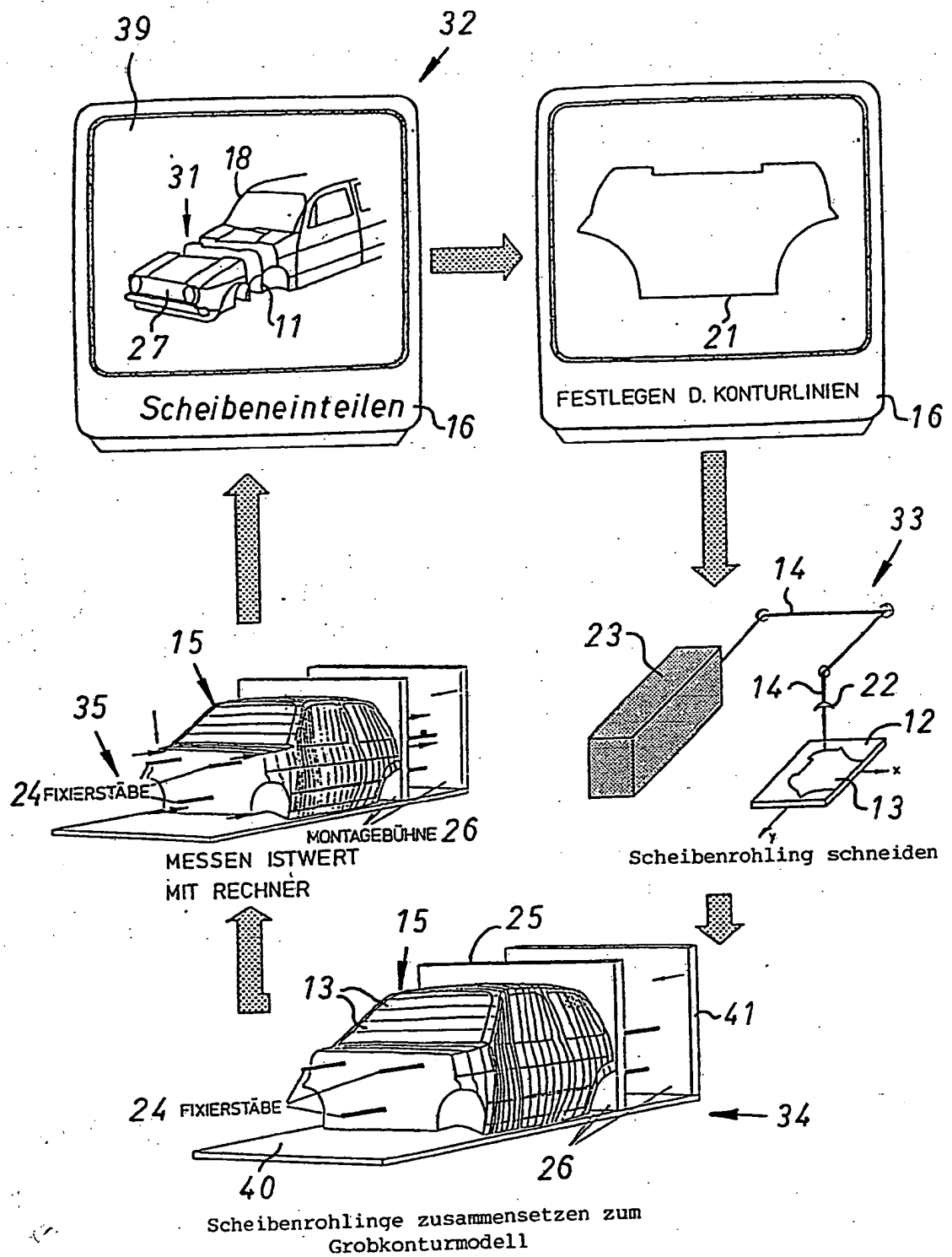
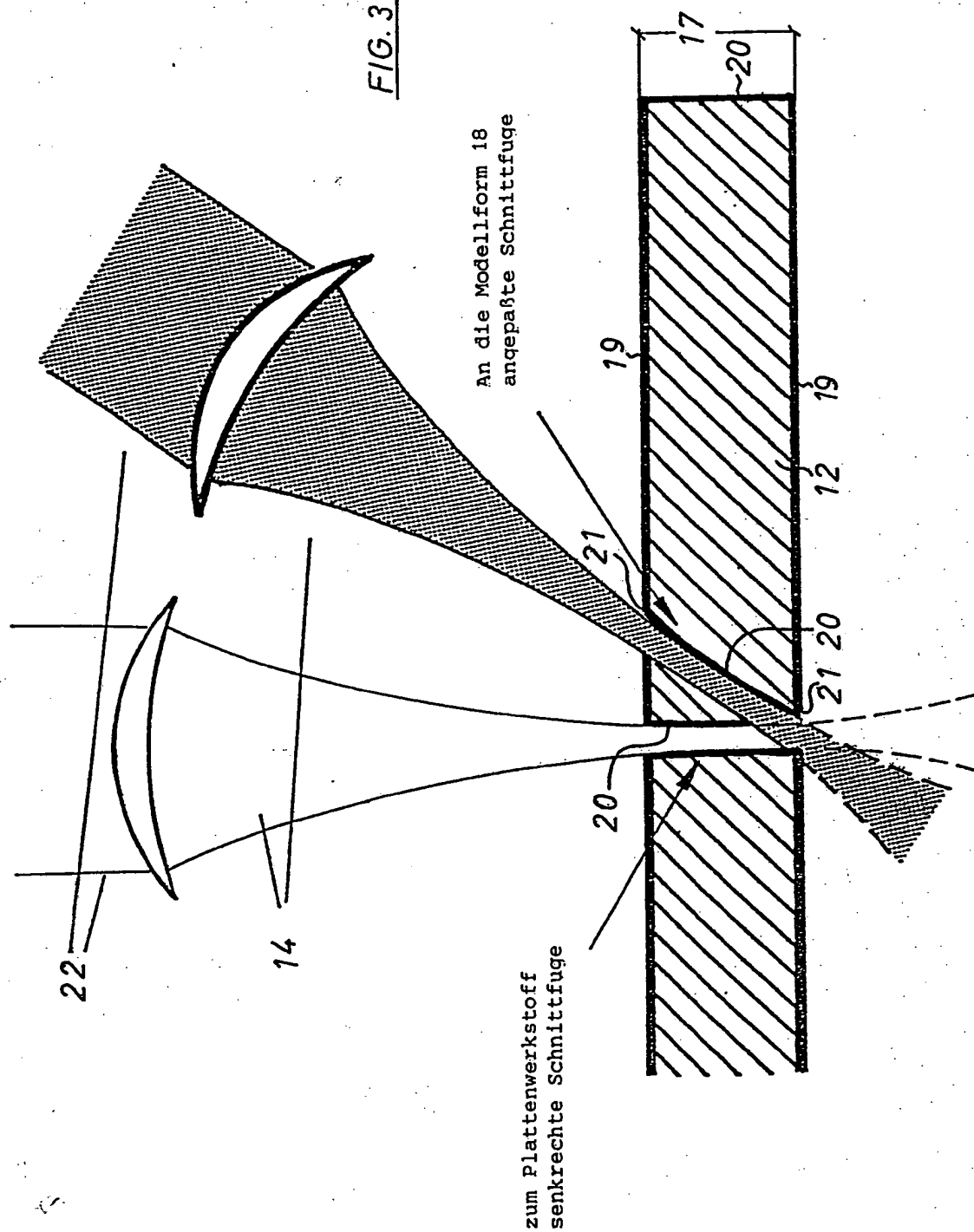


FIG.2

FIG. 3





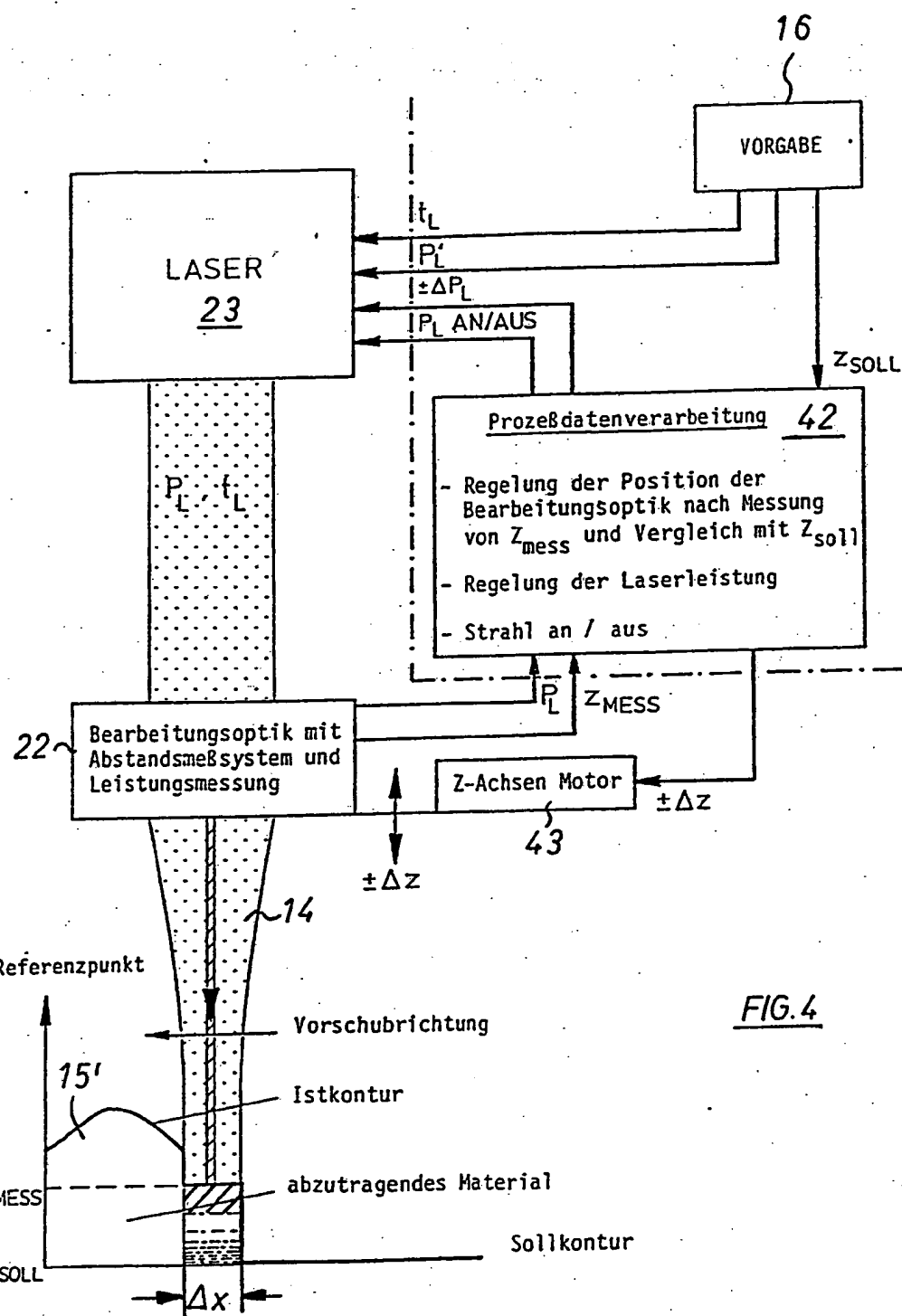


FIG. 4

3711470

FIG. 5